

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH SYSTEMÓW KLASYFIKACJI DO OKREŚLENIA TYPÓW MATERII ORGANICZNEJ W GLEBACH LEŚNYCH W TATRACH

Katarzyna Wasak

Application of selected classification systems in describing the types of humus in forest soils of the Tatra Mountains

Abstract: Features of humus horizons are strictly controlled by environmental factors like trophic and climatic conditions. Morphology of humus horizons is a key to understanding the conditions and processes that shape the horizons. In the Tatra Mountains many factors influence humus formation. Firstly, soils are developed on different bedrock – limestones and more acidic shales. Secondly, on large areas natural beech forests have been replaced by spruce forests. The aim of this study is to compare the existing humus form classifications to verify their applicability in this diverse region.

Key words: humus types, forest soils, the Tatra Mountains

Zarys treści: Budowa poziomów organicznych i próchnicznych jest odzwierciedleniem warunków środowiska, w jakich kształtuje się gleba, toteż zagadnienie morfologii materii organicznej jest bardzo istotne dla zrozumienia warunków i procesów ją kształtujących. W lasach Tatr Zachodnich istnieje duże zróżnicowanie czynników, które wpływają na kształtowanie właściwości gleb oraz materii organicznej. W podłożu występują łupki ilaste oraz skały węglanowe (wapień i dolomity). Na dużych obszarach w miejsce naturalnych lasów bukowodłowych nasadzono świerki, które zmieniły środowisko glebowe, a w konsekwencji także właściwości materii organicznej. Celem opracowania jest ocena przydatności Systematyki gleb Polski (2011), Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) oraz nowo zaproponowanej klasyfikacji

typów materii organicznej Jabioła i współautorów (2013) do określenia zróżnicowania morfologii materii organicznej tych gleb w nawiązaniu do warunków środowiska.

Słowa kluczowe: typy materii organicznej, gleby leśne, Tatry

1. Wstęp

Materia organiczna jest jednym z podstawowych składników gleby, a jej występowanie odróżnia glebę od utworów mineralnych – skał i zwietrzelin. Właściwości glebowej materii organicznej świadczą o warunkach troficznych środowiska. Sekwencja poziomów zawierających materię organiczną w różnej formie, a więc poziomów organicznych (O) i próchnicznych (A) jest wypadkową warunków klimatycznych, cech skały macierzystej, ukształtowania terenu oraz sposobu użytkowania. W przypadku gleb leśnych budowa i cechy tych poziomów zależą także od składu gatunkowego drzewostanu oraz stadium rozwojowego lasu. Wymienione czynniki determinują temperaturę i wilgotność gleby oraz dostępność składników pokarmowych, przez co wpływają na wielkość opadu roślinnego oraz tempo rozkładu szczątków roślinnych, a w konsekwencji na wykształcenie określonych typów materii organicznej (Dziadowiec 1990; Bernier 1996; Rozpędowska, Skiba 2006; Ukonmaanaho i in. 2008; Maciaszek i in. 2009; Ponge i in. 2011). Charakter tych poziomów może być wykorzystany do wnioskowania o zmianach środowiska glebowego w wyniku działalności człowieka obecnie lub w przeszłości (Mund, Schulze 2006).

Opis i systematyka materii organicznej jest zatem ważnym zagadnieniem w opisie i klasyfikacji gleb, a w szczególności gleb leśnych. Zagadnieniem typologii materii organicznej w glebach leśnych na terenie Tatr w nawiązaniu do warunków środowiska zajmowali się m.in. Wąsowicz (1933), Komornicki (1977), Niemyska-Łukaszuk (1977), Skiba (1995), Drewnik (1998), Rozpędowska i Skiba (2006).

Według Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) oraz Systematyki gleb Polski (2011) wyróżnia się trzy podstawowe typy materii organicznej (według Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) – nazywane typami próchnicy): mull, moder i mor, oraz typy o cechach pośrednich: modernull i modernmor. W Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) oprócz morfologii poziomów uwzględnia się także pH, stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami oraz stosunek C/N w poziomach O i A.

W 2013 roku ukazała się propozycja klasyfikacji typów materii organicznej (*humus forms*) na potrzeby klasyfikacji gleb WRB (Jabiol i in. 2013). Opiera się ona przede wszystkim na morfologii poziomów organicznych (O) i próchnicznych (A). W odróżnieniu od Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) i Systematyki gleb Polski (2011), uwzględnia ona cechy zoogeniczne, w tym obecność agregatów strukturalnych świadczących o aktywności fauny glebowej. Klasyfikacja ta opiera się na założeniu, że istotną rolę w kształtowaniu form próchnicy odgrywa fauna glebowa, której rozwój

zależy od warunków troficznych środowiska (Reich i in. 2005; Salmons i in. 2005), czym nawiązuje do klasycznych koncepcji typologii próchnic (m.in. Kubiena 1953). Propozycja Jabiola i in. (2013) wyróżnia następujące typy morfologiczno-funkcjonalne materii organicznej: moder, mor, amph, tangel i anmoor (przy czym typ anmoor występuje w glebach okresowo zalewanych). Udział fauny glebowej w przetwarzaniu materiału glebowego ocenia się na podstawie obecności agregatów strukturalnych pochodzenia zoogenicznego w masie gleby. Próchnice typu mull, amph oraz tangel charakteryzują się zoogenicznym przetwarzaniem materiału glebowego w poziomach A oraz O. W typach mull i amph w poziomach A przeważają agregaty o średnicy 1–4 mm (mezo) związane z działalnością organizmów reprezentujących mezofaunę glebową oraz agregaty o średnicy większej niż 4 mm związanych z działalnością dżdżownic reprezentujących makrofaunę. Organizmy te odpowiadają za mieszanie materiału między poziomami organicznymi i próchnicznymi. Próchnice typu amph w odróżnieniu od mull charakteryzują się rozbudowanymi poziomami organicznymi O, co wynika ze spowolnienia procesów rozkładu materii organicznej. W próchnicach typu moder poziom A jest bezstrukturalny lub ma słabo wykształconą strukturę (agregaty mniejsze niż 1 mm), co zdaniem autorów wynika z ograniczonej aktywności fauny glebowej (głównie drobnych przedstawicieli mezofauny). Próchnice typu mor charakteryzują się niezoogenicznym pochodzeniem poziomów nadkładowych oraz słabo strukturalnym lub bezstrukturalnym poziomem próchnicznym.

Celem opracowania jest ocena przydatności poszczególnych klasyfikacji do opisanie zróżnicowania materii organicznej gleb wykształconych ze zwietrzliny różnych skał osadowych (skał węglanowych oraz łupków ilastych) pod buczyną karpacką i monokulturą świerka na siedliskach lasów bukowych i bukowo-jodłowych w Tatrach.

Wobec istniejących różnic terminologicznych, zdecydowano się w tytule artykułu oraz jego treści stosować terminologię z Systematyki Gleb Polski (2011), Aneks 5.

2. Charakterystyka obszaru badań

Teren badań stanowią lasy Tatr Zachodnich. Przez ostatnie kilkaset lat podlegały one silnym przemianom na skutek działalności człowieka. W XVIII i XIX w. lasy bukowo-jodłowe wycięto niemal całkowicie na potrzeby przemysłu hutniczego. W połowie XIX w. ponownie zalesiono te tereny. Zalesienie bukiem i jodłą okazało się bardzo trudne, ponieważ gatunki te wymagają do swego rozwoju okapu większych drzew. Zasadzono natomiast świerki, które ze względu na szybkie tempo wzrostu miały być źródłem drewna na potrzeby przemysłu i budownictwa. Po kilkudziesięciu latach lasy świerkowe wyhodowane z nasion drzew nieprzystosowanych do specyficznych warunków klimatu i podłoża zaczęły jednak „wypadać” na skutek chorób, oksiści

i silnych wiatrów (Myczkowski, Lesiński 1974; Fabijanowski, Dziewolski 1996). Rozwój pasterstwa dodatkowo przyczynił się zmniejszenia powierzchni lasu, a bydło i owce wypasane w lasach (tzw. przepaski wiosenne i jesienne) zgryzały runo oraz młode drzewa (zwłaszcza liściaste), zwiększając rozmiary erozji gleby i powodując obnażanie korzeni drzew (Sokołowski 1935). Pasterstwo w takiej formie przetrwało w Tatrach do lat 60. XX wieku (Fabijanowski, Dziewolski 1996).

Naturalne lub zbliżone do naturalnych lasy bukowe i bukowo-jodłowe zachowały się w niewielkich enklawach w rejonie dolin Spadowca, Ku Dziurze i Strążyskiej. Pojedyncze stare buki zachowały się u wylotu Doliny Olczyskiej (Myczkowski, Lesiński 1974; Myczkowski i in. 1985a). Nie tworzą one jednak zwartej drzewostanu. Duże powierzchnie lasów bukowych występują w Dolinie Białego – są to lasy stosunkowo młode (liczące 40–50 lat) (Myczkowski i in. 1985a; Krawiec, Czerny 2005) pod okapem pojedynczych starych buków.

Do badań wytypowano 6 powierzchni badawczych (tab. 1). Zostały one wybrane jako reprezentatywne spośród 16 szczegółowo opisanych powierzchni badawczych. Wybrane powierzchnie zlokalizowane są w dolinach: Chochołowskiej, Spadowca, Białego i Olczyskiej na wysokości 910–1050 m n.p.m. Wszystkie powierzchnie badawcze zlokalizowane są na obszarze zajmowanym pierwotnie przez zbiorowisko żyznej buczyny karpackiej lub jedliny (Myczkowski i in. 1985b). Powierzchnie badawcze reprezentują następujące gleby: (1) gleby brunatne wykształcone całkowicie ze zwietrzeliły łupków ilastych, (2) gleba brunatna i rędzina brunatna wykształcone ze zwietrzeliły łupków ilastych podścielanych skałami węglanowymi, (3) rędziny czarnoziemne wykształcone ze zwietrzeliły wapieni i dolomitów. Dwie powierzchnie badawcze reprezentują naturalne lasy bukowe o wieku 100–140 lat w dolinach Spadowca i Białego (profile nr 1, 9). Jedna powierzchnia badawcza reprezentuje młodą buczynę (ok. 50 lat) pod okapem pojedynczych starych buków na miejscu świerczyny (profil nr 5). Trzy stanowiska (profile nr 7, 10, 15) reprezentują świerczyny o wieku 140–150 lat nasadzone w miejsce lasu bukowego lub jodłowego w dolinach: Chochołowskiej, Białego i Olczyskiej (Myczkowski i in. 1985a; Piękoś-Mirkowa 1985; Krawiec, Czerny 2005).

3. Metodyka

Na każdej z powierzchni badawczych, po wykonaniu szeregu wkopów sondażowych, wykonano odkrywkę glebową. Opisano profil glebowy ze szczególnym uwzględnieniem morfologii poziomów organicznych (O) i próchnicznych (A) oraz pobrano próbki glebowe (w czerwcu i lipcu).

W laboratorium próbki wysuszono. Próbkę z poziomów A przesiano przez sito 2 mm. Próbkę z poziomów O rozdrobniono. W laboratorium oznaczono: zawartość

Tab. 1. Położenie profili, klasyfikacja gleb
Table 1. Site location, soil classification

Nr profilu/ Profile no.	Lokalizacja/ Site location	Skład drzewostanu/ Dominant tree species	Wiek drzewostanu (lata)/ Stand age (years)	Wysokość (m. n.p.m.)/ Altitude (m. a.s.l.)	Nachylenie, ekspozycja, położenie na stoku/ Angle, aspect, slope position	Skala macierzysta/ Bedrock	Klasyfikacja gleb wg./ Soil name according to:	
							Systematyka gleb Polski (2011)	Klasyfikacja WRB (2006)
1	Dolina Białego/ Białego Valley	buczyna/ beech	100–140	970	10°N, górna część/ upper slope	łupki ilaste/ shists	Gleba brunatna dystroficzna typowa	Haplic Cambisol (Hyperdystic, Endoskeletal)
5	Dolina Białego/ Białego Valley	buczyna/ beech	50	990	20°W, u podnóża/ toe slope	wapień, dolomity/ limestones, dolomites	Rędzina czarnoziemna typowa	Rendzic Leptosol (Hypereutric, Episkeletic)
9	Dolina Spadowca/ Spadowca Valley	buczyna/ beech	100–140	1035	5°W, górna część/ upper slope	łupki ilaste, wapie- nie, dolomity/ shists, limestones, dolomites	Gleba brunatna eutroficzna typowa	Haplic Cambisol (Hypereutric, Episkeletic)
7	Dolina Chocho- łowska/ Chochołowska Valley	świerczyna/ spruce	> 140	1020	wypłaszczenie na stoku/ middle slope, flat	łupki ilaste, wapie- nie, dolomity/ shists, limestones, dolomites	Rędzina brunatna typowa	Cambic Leptosol (Calcaric, Episkele- tic, Epleutric)
10	Dolina Olczyńska/ Olczyńska Valley	świerczyna/ spruce	140–150	910	5°E, środkowa część/ middle slope	łupki ilaste/ shists	Gleba brunatna dystroficzna gruntowo- glejowa	Stagnic Cambisol (Endeutric)
15	Dolina Białego/ Białego Valley	świerczyna/ spruce	140–150	980	wypłaszczenie na stoku/ middle slope, flat	wapień, dolomity/ limestones, dolomites	Rędzina czarnoziemna typowa	Histic Leptosol (Eutric, Episke- letic)

Wiek drzewostanu określony na podstawie map: Myczkowski i in. (1985) oraz Mapa klas wiekowych drzewostanów, [w:] Krawiec, Czerny (red.) (2005)
Stand age determined according to maps: Myczkowski et al. (1985) and Mapa klas wiekowych drzewostanów, [in:] Krawiec, Czerny (eds.) (2005)

węgla organicznego metodą Tiurina w modyfikacji Oleksynowej w poziomach próchnicznych (Oleksynowa i in. 1987), straty prażenia w temperaturze 400°C (przez 16 godzin) w poziomach nadkładowych (Nelson, Sommers 1996), odczyn w metodą potencjometryczną w roztworze KCl (1 mol/dm³) oraz wodzie destylowanej (w poziomach A w proporcji 1:2,5; w poziomach O – w paście nasyconej), stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (% V) w poziomach A; został on obliczony wg wzoru $V = (S/(Y + S)) \cdot 100$, gdzie Y oznacza kwasowość hydrolityczną oznaczoną metodą Kappena, a S – sumę kationów wymiennych oznaczonych metodą ASA w wyciągu octanu amonu.

W nierozdrobnionych próbkach, po usunięciu korzeni, w poziomach O określono procentowy udział bezpostaciowej materii organicznej (materii organicznej, w której nie da się rozróżnić struktury tkankowej gołym okiem i w powiększeniu 5–10 x) oraz procentowy udział agregatów strukturalnych pochodzenia zoogenicznego. Procentowy udział bezpostaciowej materii organicznej oraz agregatów strukturalnych określono w objętości gleby. Każdą próbkę podzielono na kilka części o jednakowej objętości, następnie rozsypano na tabliczkę wzorcową o wymiarach 10 x 10 cm i oszacowano udział bezpostaciowej materii organicznej oraz agregatów strukturalnych pochodzenia zoogenicznego (Zanella i in. 2011). Wyniki dla próbek z poszczególnych poziomów uśredniono. W poziomach O i A zmierzono ponadto maksymalną wielkość agregatów strukturalnych oraz wyznaczono ich przeważającą wielkość.

4. Wyniki

W glebach drzewostanów bukowych miąższość poziomów organicznych wynosi od 4 do 6 cm (tab. 2). W profilach nr 1 i 5 pod podpoziomami surowinowymi (Ol) wykształciły się podpoziomy detrytusowe (Ofh). W profilu nr 9 podpoziom surowinowy położony jest bezpośrednio na poziomie próchnicznym (A). W poziomach organicznych pH_{KCl} waha się od 4,3 do 5,9. Strata żarowa wynosi od 37,0% do 95,2%. Podpoziomy detrytusowe charakteryzują się nieznacznym udziałem bezpostaciowej materii organicznej oraz występowaniem licznych agregatów strukturalnych pochodzenia zoogenicznego świadczących o mieszanii materiału glebowego przez faunę glebową (tab. 2). Miąższość poziomów próchnicznych (A) w tych glebach wynosi od 9 do 29 cm. W poziomach tych pH_{KCl} waha się od 3,6 do 7,6, zawartość węgla organicznego wynosi zaś od 1,96% do 6,05% (tab. 2).

W glebach pod drzewostanami świerkowymi miąższość poziomów organicznych wynosi od 5 do 14 cm (tab. 3). Poziomy organiczne pod świerkiem mają zróżnicowaną morfologię. W profilu nr 10 występuje podpoziom detrytusowy (Ofh) oraz nieciągły podpoziom epihumusowy (Oh). W profilu nr 7 występuje podpoziom butwinowy (Of) oraz nieciągły podpoziom epihumusowy (Oh). Podpoziom Of przerośnięty jest

Tab. 2. Właściwości materii organicznej badanych gleb pod drzewostanami bukowymi
Table 2. Properties of the humus horizons developed on soils under beech forest

Nr profilu/ Profile no.	Oznaczenie poziomu wg./ Name of horizon according to:			Miaższość poziomu/ Horizon thickness [cm]	C org./ Organic carbon [%]	Straty prażenia/ Loss of lignin [%]	pH		Stopień wysycenia kationami zasadowymi/ Base saturation [%]	Udział bezpo- -staciowej materii org./ Amorphous organic matter content [%]	Udział i rozmiar agregatów/ Contribution and size of aggregates [mm]	Przeważający rozmiar agregatów/ Prevailed size of aggregates [mm]
	Systematyki Gleb Polski (2011)	Klasyfikacji Gleb Leśnych Polski (2000)	Jabłola i in. (2013) Jabiol et al. (2013)				woda/ water	KCl				
1	Ol	Ol	OL	1	n.a.	95,2	5,3	4,5	n.a.	0	–	–
	Ofh	Ofh	Ofzo	5	n.a.	82,9	5	4,3	n.a.	10	++, 1–4	1–2
	A	A	meA	9	3,02	n.a.	4,8	3,6	20,3	n.a.	n.a.	1–4
5	Ol1	Ol1	OLn	2	n.a.	92,3	6,4	5,7	n.a.	0	–	–
	Ol2	Ol2	OLv	3	n.a.	89,5	6,6	5,9	n.a.	0	–	–
	Ofh	Ofh	Ofzo	1	n.a.	37,0	n.a.	n.a.	n.a.	30	++, 1–5	2–4
	A1	A1	meA	14	4,42	n.a.	7,9	7,5	92,7	n.a.	n.a.	2–3
	A2	A2	meA	8	2,81	n.a.	7,8	7,3	89,8	n.a.	n.a.	2–3
	A3	A3	meA	7	1,96	n.a.	7,9	7,6	91,6	n.a.	n.a.	1–2
9	Ol1	Ol1	OLn	1	n.a.	91,0	5,7	5,0	n.a.	0	–	–
	Ol2	Ol2	OLv	3	n.a.	59,5	5,4	4,7	n.a.	5	++, 1–5	1–2
	Ah	A	meA	8	6,05	n.a.	6,1	5,3	58,3	n.a.	n.a.	2–3
	AB	AB	meA	8	3,59	n.a.	5,6	4,2	59,9	n.a.	n.a.	2–3

Oznaczenia: (explanations)

- brak agregatów; lack of aggregates
- + – występowanie pojedynczych agregatów (<10% w objętości gleby); sparse aggregates (<10% in soil volume)
- ++ – występowanie licznych agregatów (10-50% w objętości gleby); numerous aggregates (10–50% in soil volume)
- +++ – występowanie bardzo licznych agregatów (>50% w objętości gleby); numerous aggregates (>50% in soil volume)
- n.a. – nie analizowano; not analyzed

Tab. 3. Właściwości materii organicznej badanych gleb pod drzewostanami bukowymi
Table 3. Properties of the humus horizons developed on soils under spruce forest

Nr profilu/ Profile no.	Oznaczenie poziomu wg: Name of horizon according to:		Miaższość poziomu/ Thickness [cm]	C org./ Organic carbon [%]	Straty pra- żenia Loss of ignition [%]	pH		Stożenie wysycenia kationami zasadowymi/ Base saturation [%]	Udział beopostaciowej materii org./ Amorphous organic matter content [%]	Udział i rozmiar agregatów/ Contribution and size of aggregates [mm]	Przeważający roz- miar agregatów/ Prevailed size of aggregates [mm]
	Systematyki Gleby Polskiej (2011)	Klasyfikacji Gleby Leśnych Polski (2000)									
7	Of	Of	5	n.a.	35,6	4,7	3,8	n.a.	20	+1; grz.	1
	Oh	Oh	niec./disc.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	A1	A1	5	3,42	n.a.	5,8	4,6	63,9	n.a.	n.a.	2-3
	A2	A2	10	1,94	n.a.	6,5	5,7	60,1	n.a.	n.a.	2-3
10	Ofh	Ofh	2	n.a.	66,2	4,8	4,0	n.a.	10	+; 1-2	1-2
	Oh	Oh	niec./disc.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	100	++; 1-5	1-3
	Ah	A1	4	7,08	n.a.	4,1	3,2	13,4	n.a.	n.a.	1
	A1	A2	4	2,41	n.a.	4,4	3,4	29,9	n.a.	n.a.	<1
15	A2	A3	5	1,48	n.a.	4,8	3,7	53,4	n.a.	n.a.	1-2
	Ol	Ol	1	n.a.	92,8	5,5	5,0	n.a.	0	-	-
	Of	Of	6	n.a.	90,2	4,6	3,7	n.a.	30	++; 1-5	1-2
	Oh	Oh	7	n.a.	56,0	6,3	5,7	n.a.	80	+++; 1-6	3-4
	Ah1	A1	11	13,37	n.a.	7,2	6,7	n.a.	n.a.	n.a.	2-3
	Ah2	A2	15	10,25	n.a.	7,2	6,7	n.a.	n.a.	n.a.	2-3
	Ah3	A3	10	8,77	n.a.	7,3	6,8	92,3	n.a.	n.a.	2-3
	Ah4	A4	10	5,78	n.a.	7,4	6,9	n.a.	n.a.	n.a.	2-3

Oznaczenia; (explanations):

- - brak agregatów; lack of aggregates; + - występowanie pojedynczych agregatów (<10% w objętości gleby); sparse aggregates (<10% in soil volume); ++ - występowanie licznych agregatów (10-50% w objętości gleby); numerous aggregates (10-50% in soil volume); +++ - występowanie bardzo licznych agregatów (>50% w objętości gleby); numerous aggregates (>50% in soil volume); grz./ myc. - materiał przerosnięty grzybnią; niec./disc. - poziom nieciągły; discontinuous horizon; n.a. - nie analizowano; not analyzed.

grzybnią. W profilu nr 15 występuje sekwencja podpoziomów surowinowy–butwinowy–epihumusowy (Ol–Of–Oh). W poziomach organicznych pH_{KCl} waha się od 3,2 do 5,7. Straty prażenia w zależności od podpoziomu wynoszą od 35,6% do 92,7%. Poziomy organiczne w profilu nr 15 charakteryzują się dobrze wykształconą strukturą agregatową (ryc. 1). W profilach nr 7 i 10 agregaty strukturalne pochodzenia zoogenicznego w poziomach organicznych są drobne i bardzo nieliczne (tab. 3, ryc. 2).

Miąższość poziomów próchnicznych w glebach pod drzewostanami świerkowymi wynosi od 13 cm w glebie brunatnej wykształconej ze zwietrzliny łupków ilastych (profil nr 10) do 46 cm w rędzinie czarnoziemnej wykształconej ze zwietrzliny wapienia (profil nr 15). W poziomach próchnicznych pH_{KCl} waha się od 3,4 do 6,9, a zawartość węgla organicznego wynosi od 1,48% do 13,37%. W poziomach próchnicznych gleby brunatnej (profil nr 10) przeważają drobne agregaty pochodzenia zoogenicznego o średnicy 1–2 mm, w poziomach próchnicznych w profilach rędziny brunatnej i rędziny czarnoziemnej (profile nr 7 i 15) przeważają większe agregaty o średnicy 3–4 mm (tab. 3).

Według Systematyki gleb Polski (2011) materię organiczną w glebach wykształconych pod drzewostanami bukowymi zaklasyfikowano jako mull (profil nr 9), modermull (profil nr 5) oraz moder (profil nr 1) (tab. 4). Według Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) materię organiczną (próchnicę) gleb pod drzewostanami bukowymi zaklasyfikowano jako modermull (profile nr 1, 5) lub mull (profil nr 9). Różnice w klasyfikacjach wynikają z uwzględnienia w Klasyfikacji gleb leśnych Polski oprócz morfologii poziomów także odczynu, stosunku C/N oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami. Według propozycji klasyfikacji Jabiola i in. (2013) materię organiczną (*humus form*) pod bukiem zaklasyfikowano jako mull ze względu na zoogeniczny charakter poziomów próchnicznych oraz podpoziomów detrytusowych (jeśli te występują). W badanych glebach wyróżniono podtypy dysmull: wówczas gdy w profilu występuje ciągły podpoziom detrytusowy (Of) o charakterze zoogenicznym (profile nr 1 i 5) oraz oligomull jeżeli podpoziom Of nie występuje, a podpoziom surowinowy (Of) jest ciągły (profil nr 9) (tab.4).

Według Systematyki gleb Polski (2011) w glebach występujących pod drzewostanami świerkowymi materię organiczną zaklasyfikowano jako mor (profile nr 7 i 15) i moder (profil nr 10). Według Klasyfikacji gleb leśnych Polski cechy poziomów organicznych i próchnicznych gleby w profilu nr 7 pozwoliły na zaklasyfikowanie materii organicznej jako mor z cechami mull w poziomie A. Materię organiczną w profilu nr 10 zaklasyfikowano jako modermor, a w profilu 15 jako mor z cechami mull w poziomie A. Według klasyfikacji zaproponowanej przez Jabiola i współautorów (2013) materię organiczną (*humus form*) w profilu nr 15 zaklasyfikowano jako pachyamphi ze względu na występowanie podpoziomu epihumusowego (Oh) o miąższości 3 cm oraz strukturalnego poziomu A. Materię organiczną w profilu nr 10 zaklasyfikowano jako humimor ze względu na występowanie podpoziomu Oh oraz

Tab. 4. Klasyfikacja typów materii organicznej według Systematyki Gleb Polski (2011), Klasyfikacji Gleb Leśnych Polski (2000) i Propozycji klasyfikacji Jabiola i in. (2013)

Table 4. Humus form names according to SystematykaGlebPolski (2011), Klasyfikacja Gleb Leśnych Polski (2000) and WRB proposal – Jabiol et al. (2013)

Numer profilu/ Profile no.	Klasyfikacja według:/ Humus form name according to:		
	Systematyki gleb Polski (2011)	Klasyfikacji Gleb Leśnych Polski (2000)	Propozycji klasyfikacji Jabiola i in.(2013)/ Jabiol et al. (2013) – proposal
1	Orto-higro-moder	Moder wilgotny	Haplic Dysmull (Dystric)
5	Kalcy-higro-modermull	Modermull wilgotny	Haplic Dysmull (Hypereutric, Rendzic)
9	Orto-droso-mull	Mull świeży	Haplic Oligomull (Eutric)
7	Orto-droso-mor	Protomor/Mull świeży*	Amphi/Mor*
10	Orto-droso-modermor	Modermor świeży	Haplic Humimor (Dystric)
15	Orto-higro-mor	Mor/Mull wilgotny*	Haplic Pachyamphi (Hypereutric, Hyperhumic)

*niemożliwe do jednoznacznej identyfikacji

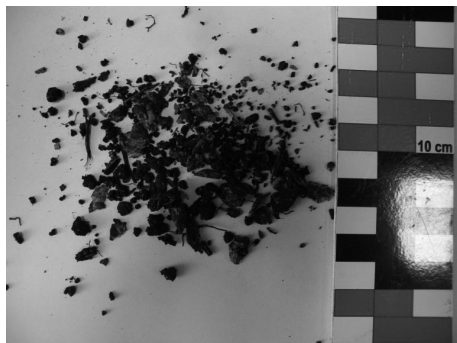
*hard to identify

poziomu A ze słabo wykształconą strukturą agregatową o cechach zoogenicznych. Materia organiczna w punkcie nr 7 charakteryzuje się dobrze rozwiniętą strukturą w poziomie próchnicznym przy jednoczesnym braku śladów aktywności fauny glebowej w poziomie organicznym. Propozycja klasyfikacji Jabiola i współautorów (2013) nie pozwala na klasyfikację tak wykształconej materii organicznej.

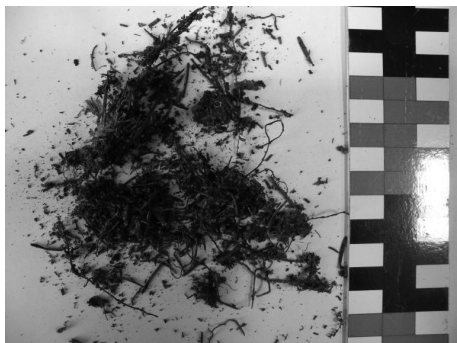
5. Dyskusja wyników

5.1. Czynniki kształtujące morfologię poziomów organicznych i próchnicznych

Mięszość poziomów organicznych w badanych glebach pod drzewostanami bukowymi jest przeważnie większa, niż mówią o tym doniesienia literaturowe z Tatr (Rozpędowska, Skiba 2006). W dwóch z trzech badanych gleb obserwuje się występowanie podpoziomu detrytusowego (Ofh) pod podpoziomem surowinowym (Ol), świadczące o spowolnionym tempie rozkładu liści. Akumulacja próchnicy nadkładowej o znacznej mięszości, a nawet występowanie materii organicznej typu mor



Ryc. 1. Profil nr 15: podpoziom Oh
Fig.1. Profile No. 15 – Oh subhorizon



Ryc. 2. Profil nr 10: podpoziom Ofh
Fig.2. Profile No. 10 – Ofh subhorizon



Ryc. 3. Profil nr 10: próchnica typu modermor,
Humimor
Fig.3. Profile No. 10. Modermor humus type,
Humimor humus type



Ryc. 4. Profil nr 15: próchnica typu
mor, Pachyamphi
Fig.4. Profile No. 15. Mor humus
type, Pachyamphi humus type

w glebach pod drzewostanami bukowymi była opisywana m.in. przez Staafa (1987) oraz Maciaszka i in. (2000). Tworzenie się poziomów organicznych o znacznej miąższości w glebach wykształconych pod drzewostanami bukowymi można tłumaczyć

faktem, że liście buka rozkładają się wolno w porównaniu z liśćmi innych drzew liściastych, a nawet z igłami świerka w tych samych warunkach (Albers i in. 2004; Hobbie i in. 2006). Wynika to, zdaniem wymienionych autorów, z dużej zawartości ligninu w tych liściach.

Niezależnie od skały macierzystej w poziomach O oraz A gleb wykształconych pod drzewostanami bukowymi obserwowano występowanie dobrze rozwiniętej zoogenicznej struktury agregatowej. Świadczy to o dużym udziale fauny glebowej w procesie formowania się tych poziomów (Zanella i in. 2011; Jabiol i in. 2013). Eutroficzny charakter tych ściółek związany jest z tym, że ściółka bukowa, niezależnie od charakteru podłoża, jest mniej kwaśna niż ściółka świerkowa (tab. 2, 3). Sarıyıldız i in. (2005) tłumaczą szybszy rozkład liści buka niż igieł świerka w naturalnych warunkach faktem, że świerk zakwasza środowisko glebowe. Makroskopowe cechy morfologii materii organicznej pod drzewostanami bukowymi znajdują odzwierciedlenie w obserwacjach cech mikroskopowych, które prowadziła Niemyska-Łukaszuk (1977) w glebach Tatr. Obserwowała ona przewagę formy mullikol, będącej rezultatem przetwarzania materii organicznej przez przedstawicieli mezo- i makrofauny glebowej (dżdżownice i wazonkowce) w próchnicach moder-mull rędzin wykształconych pod drzewostanami bukowymi.

Budowa poziomów organicznych wykształconych w badanych glebach występujących w lasach świerkowych wykazuje podobieństwo do opisanych w literaturze z terenu Tatr (Komornicki 1977; Niemyska-Łukaszuk 1977; Drewnik 1998).

W glebach wykształconych pod drzewostanami świerkowymi ze zwietrzliny łupków ilastych poziomy organiczne nie wykazują struktury agregatowej związanej z działalnością fauny glebowej. Niemyska-Łukaszuk (1977) obserwowała dominację słabo rozłożonego materiału roślinnego typu humiskel z nielicznymi odchodami roztoczy w próchnicach typu mor w glebach wytworzonych w takich samych warunkach ze zwietrzliny łupków ilastych pod drzewostanami świerkowymi. Poziomy te charakteryzują się niskim pH w porównaniu z glebami brunatnymi występującymi pod drzewostanami bukowymi. Potwierdza to obserwacje Rouska i in. (2009), którzy stwierdzili, że przy odczynie poniżej 4,5 jednostek $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ dominującą rolę w procesach rozkładu materii organicznej odgrywają grzyby bez znacznego udziału fauny glebowej.

Morfologia poziomów organicznych w glebach pod bukiem jest zróżnicowana w zależności od właściwości skały macierzystej. W profilu nr 1 przy pH_{KCl} gleby w poziomie A wynoszącym <4 wykształcił się podpoziom detrytusowy, a w profilu nr 9 przy pH_{KCl} w poziomie A wynoszącym >4,5 na powierzchni występuje jedynie podpoziom surowinowy.

Gleba wykształcona ze zwietrzliny skał węglanowych pod drzewostanem świerkiem (profil nr 15) charakteryzuje się występowaniem poziomów organicznych o znacznej miąższości. Poziomy te wykazują zatem podobieństwo morfologiczne

do materii organicznej typu tangelmor (psychromor) charakterystycznych dla gleb lasów regla górnego oraz zarośli kosodrzewiny w piętrze subalpejskim, które opisali Niemyska-Łukaszuk (1977), Komornicki i Skiba (1996), Miechówka i Ciarkowska (1998), Miechówka (2000). Różni się od nich mniejszą miąższością podpoziomów butwinowych w stosunku do podpoziomów epihumusowych. Zaskakujące wydaje się, że poziomy organiczne w glebie wykształconej ze zwietrzeliny skał węglanowych mają większą miąższość niż w glebach wykształconych ze zwietrzeliny łupków ilastych. Komornicki (1977) występowanie butwin w reglu dolnym Tatr częściowo tłumaczył północną wystawą stoków, aczkolwiek zaznaczał przy tym, że nie jest to wyjaśnienie wystarczające. Jak pokazuje literatura, zagadnienie to jest złożone. W lasach na uboższych siedliskach produkcja biomasy jest znacznie mniejsza niż na siedliskach żyznych (Puchalski, Prusinkiewicz 1975; Albrektson 1988; Ukonmanacho i in. 2008), jednocześnie jednak w glebach o wysokim statusie troficznym udokumentowano szybszy rozkład materii organicznej (Vesterdal, Raulund-Rasmussen 1997; Berg 2000; Hobbie i in. 2006) i występowanie mniej miąższych poziomów organicznych (Staaf 1987; Ponge i in. 2011). Szybszy rozkład materii organicznej w żyznym środowisku z jednej strony tłumaczony jest m.in. dostępnością jonów wapnia, których obecność jest niezbędna do prawidłowego przebiegu procesów życiowych dżdżownic przyspieszających tempo rozkładu materiału roślinnego zwłaszcza we wstępnej fazie (Reich i in. 2005). Z drugiej jednak strony wyniki badań Drewnika (2006) pokazują, że tempo rozkładu celulozy w glebach na wapieniu pod świerkiem jest spowolnione. Wyniki badań Seasted i Crossley (za: Ciarkowska, Miechówka 2005) pokazują, że w pewnych warunkach rozwój fauny glebowej przyczynia się do zmniejszenia tempa rozkładu materii organicznej. Przyczyną tego zjawiska może być to, że niektórzy przedstawiciele makro- i mezofauny żywią się mikroorganizmami żyjącymi w glebie i warunkującymi rozkład, przez co ograniczają ich liczebność.

Poziomy organiczne rędziny wytworzonej ze zwietrzeliny skał węglanowych (profil nr 15), w przeciwieństwie do poziomów organicznych gleby brunatnej wytworzonej z łupków ilastych (profil nr 10) i rędziny brunatnej (profil nr 7), charakteryzują się znacznym udziałem agregatów pochodzenia zoogenicznego. W poziomach A oraz podpoziomach Of i Oh przeważają drobne agregaty (1–4 mm średnicy) świadczące o aktywności większych przedstawicieli mezofauny. W podpoziomie Oh występują także agregaty o większej średnicy, co świadczy o aktywności przedstawicieli makrofauny w przetwarzaniu materiału glebowego (Zanella i in. 2011; Jabiol i in. 2013). Ta grupa organizmów jest odpowiedzialna w głównej mierze za transport materiału pomiędzy poziomami O i A, co odzwierciedla się w morfologii poziomów – domieszce materiału mineralnego w poziomie O i nieostrej granicy między poziomami organicznymi i próchnicznymi w tym profilu w porównaniu z profilem gleby wykształconej ze zwietrzeliny łupków ilastych (ryc. 3, 4). Prawdopodobnie ma to związek z obecnością jonów wapnia, które kształtują pH oraz stwarzają sprzyjające

warunki rozwoju fauny glebowej (Reich i in. 2005). Niemyska-Łukaszuk (1977) zaobserwowała przewagę formy mullikol w podpoziomach Oh w materii organicznej typu tangel pod drzewostanem świerkowym. Uwzględniając strukturę podpoziomów organicznych Miechówka (2002) opisała występowanie materii organicznej typu amphii (będącej rodzajem w obrębie typu mull w klasyfikacji francuskiej) w rędzinach wykształconych pod kosodrzewiną na terenie Tatr.

Niezależnie od składu gatunkowego drzewostanu, największą miąższością charakteryzują się poziomy próchniczne badanych rędzin czarnoziemnych wytworzonych ze zwietrzliny skał węglanowych (profil nr 5 i 15), najmniejszą zaś poziomy próchniczne gleb brunatnych wytworzonych ze zwietrzliny łupków ilastych (profil nr 1 i 10). Potwierdza to obserwacje, że jony wapnia z jednej strony przyczyniają się do przyspieszenia procesów rozkładu świeżej materii organicznej, z drugiej – powodują spowolnienie procesów mineralizacji przez wiązanie kwasów próchnicowych w glebie (Kononowa 1955). Poziomy próchniczne rędzin zarówno pod bukiem, jak i pod świerkiem charakteryzują się dobrze rozwiniętą strukturą agregatową o charakterze zoogenicznym, co zdaniem Zanelli i współautorów (2011) jest związane z aktywnością fauny glebowej. W glebie brunatnej wykształconej ze zwietrzliny łupków ilastych pod drzewostanem świerkowym (profil nr 10) cechy zoogeniczne w poziomie próchnicznym są bardzo słabo wyrażone.

W drzewostanach bukowych istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się morfologii poziomów organicznych gleb jest także ukształtowanie terenu. Jak pokazują obserwacje terenowe, liście buka mogą być łatwo przenoszone przez wiatr, dlatego poziom organiczny o największej miąższości wykształcił się w glebie w profilu nr 5 w położeniu sprzyjającym gromadzeniu się liści – w dolnej części stoku w obrębie dna doliny.

Wyniki badań Waterhouse'a i współautorów (1991) oraz Berniera (1996) wskazują na to, że miąższość i morfologia poziomów organicznych zależy od wieku drzewostanu. Analizując gleby w drzewostanach o podobnym wieku (140–150 lat) można stwierdzić, że miąższość i morfologia poziomów organicznych w badanych glebach jest jednak bardzo zróżnicowana w zależności od skały macierzystej.

Przy interpretacji wyników dotyczących miąższości i morfologii poziomów organicznych należy mieć na uwadze, że lasy regla dolnego w Tatrach zostały silnie przekształcone na skutek działalności człowieka. Wiek drzewostanów na opisywanym terenie (z wyjątkiem punktu nr 5) wynosi 140–150 lat (Myczkowski i in. 1985a; Krawiec, Czerny 2005), lecz w wielu miejscach wypas zwierząt mógł się przyczyniać do niszczenia poziomów organicznych gleby zwłaszcza w miejscach łatwo dostępnych (Sokołowski 1935; Fabijanowski, Dziewolski 1996). Proces tworzenia się tych poziomów mógł więc zostać zaburzony. W opracowaniu prezentowane są wyniki badań z 3 profili glebowych pod drzewostanami świerkowymi i z 3 profili glebowych pod drzewostanami bukowymi. Należy jednak nadmienić, że są to reprezentatywne

punkty wybrane spośród 16 powierzchni badawczych. Na wszystkich powierzchniach badawczych zlokalizowanych w świerczynach w glebach wykształconych ze zwietrzliny skał węglanowych poziomy organiczne były bardziej miększe i zróżnicowane niż w glebach wykształconych ze zwietrzliny łupków ilastych.

5.2. Zastosowanie różnych klasyfikacji do określenia zróżnicowania morfologii materii organicznej

Zróżnicowanie typów i podtypów materii organicznej w glebach wykształconych pod drzewostanami bukowymi znajduje klasyfikacyjne odzwierciedlenie zarówno w Systematyce gleb Polski (2011), Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000), jak i w propozycji Jabiola i współautorów (2013) (tab. 4).

Systematyka gleb Polski (2011) oraz Klasyfikacja gleb leśnych Polski (2000) pozwalają zaklasyfikować typy materii organicznej (próchnicy) pod drzewostanami świerkowymi jako moder lub mor. Propozycja klasyfikacji materii organicznej (*humus forms*) Jabiola i współautorów (2013) pozwala na wydzielenie typu *amphi* charakterystycznego dla żyznych siedlisk ze znaczną aktywnością fauny glebowej, lecz spowolnionym rozkładem materii organicznej w odróżnieniu od typów moder i mor charakteryzujących się słabą aktywnością fauny glebowej. Klasyfikacja ta uwidacznia zatem w opisie te cechy materii organicznej, które wynikają z różnic trofii środowiska związanych z typem skały macierzystej. W piętrze regla dolnego Tatr w glebach wykształconych ze zwietrzliny łupków ilastych powstała bowiem materia organiczna typu mor, w glebach zaś wytworzonych ze zwietrzliny skał węglanowych – *amphi* (tab. 4). W przypadku profilu nr 7, w którym pod zwietrzeliną łupków ilastych płytko zalega skała węglanowa, materia organiczna ma cechy pośrednie między typem *amphi* a mor.

W przypadku gleb regla dolnego Tatr materia organiczna (*humus form*) typu *amphi* odpowiada materii organicznej, która według Systematyki gleb Polski (2011) oraz Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) jest trudna do sklasyfikowania ze względu na występowanie rozbudowanych poziomów O na żyznym podłożu. Warto dodać, że podział próchnic w Klasyfikacji gleb leśnych Polski (2000) opiera się na założeniu, że określone typy próchnic sprzężone są z roślinnością związaną z określonym siedliskiem. Jest ona zatem trudna do zastosowania w sytuacjach, w których roślinność występuje nie na swoim siedlisku. Różnice właściwości poziomów organicznych i próchnicznych mogą jednak stanowić pewien wskaźnik niezgodności roślinności z siedliskiem.

Zastosowanie propozycji Jabiola i współautorów (2013) pozwoliło na uwzględnienie różnic trofii gleby wynikających zarówno ze zróżnicowania roślinności (*mull*, *amphi* i *mor*), jak i z właściwości skały macierzystej (*amphi*, *mor*).

6. Wnioski

Morfologia materii organicznej w badanych glebach lasów regla dolnego Tatr zależy przede wszystkim od typu skały macierzystej oraz składu gatunkowego drzewostanu. Czynniki te kształtują trofię gleby, co wpływa na miąższość oraz morfologię poziomów organicznych i próchnicznych. Dodatkowym czynnikiem kształtującym opisywane próchnice leśne w przypadku gleb występujących pod drzewostanami bukowymi jest prawdopodobnie ukształtowanie terenu mające wpływ na gromadzenie się materii organicznej w niższych częściach stoku.

Systematyka gleb Polski (2011) oraz Klasyfikacja gleb leśnych Polski (2000) uwiadamiają różnice w morfologii materii organicznej występujące pomiędzy glebami w drzewostanach bukowych i świerkowych. Zastosowanie propozycji systematyki uwzględniającej zoogeniczny charakter poziomów budujących próchnice leśne (Jabiol i in. 2013) pozwala na uwzględnienie w opisie zróżnicowania wynikającego ze zróżnicowania zarówno składu gatunkowego drzewostanu, jak i skały macierzystej gleby.

Badania finansowane z grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego – projekt badawczy N N305 381539.

Literatura

- Albers D., Migge S., Schaefer M., Scheu S., 2004, *Decomposition of beech leaves (Fagus sylvatica) and spruce needles (Picea abies) in pure and mixed stands of beech and spruce*, Soil Biology and Biochemistry, 36, 155–164.
- Albrektson A., 1988, *Needle litterfall in stands of Pinus sylvestris L. in Sweden in relation to site quality, stand age and latitude*, Scandinavian Journal of Forest Research, 3, 333–342.
- Berg B., 2000, *Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils*, Forest Ecology and Management, 133, 13–22.
- Bernier N., 1996, *Altitudinal changes in humus form dynamics in a spruce forest at the montane level*, Plant and Soil, 178, 1–28.
- Ciarkowska K., Miechówka A., 2005, *Aktywność biologiczna górskich rędzin próchnicznych wytworzonych ze skał węglanowych i siarczanowych. Część I. Mikromorfologiczne wskaźniki aktywności fauny glebowej i aktywność hydrogenaz*, Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich 52, 51–63.
- Drewnik M., 1998, *Geoekologiczne uwarunkowania rozwoju poziomów próchnicznych w glebach górskich Karpat Polskich*, Praca doktorska, IGiGP, Kraków.
- Drewnik M., 2006, *The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils*, Geoderma 132, 116–130.
- Dzidowiec H., 1990, *Rozkład ściółek w wybranych ekosystemach leśnych (mineralizacja, uwalnianie składników pokarmowych, humifikacja)*, Rozprawy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Fabijanowski J., Dziewolski J., 1996, *Gospodarka leśna*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, TPN-PAN, Kraków–Zakopane, 675–696.

- Hobbie S.E., Reich P.B., Oleksyn J., Ogdahl M., Zytkowski R., Hale C., Karolewski P., 2006, *Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden*, Ecology 87, 2288–2297.
- Jabiol B., Zanella A., Ponge J.-F., Sartori G., Englisch M., van Delf B., de Waal R., Le Bayon R.-C., 2013, *A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO)*, Geoderma 192, 286–294.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski, 2000, Centrum Inf. Lasów Państwowych, Warszawa.
- IUSS Working Group WRB, 2006, *World reference base for soil resources*, World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome.
- Komornicki T., 1977, *Tatrzańskie rędziny strefy leśnej*, Roczniki Gleboznawcze, 28(1), 278–291.
- Komornicki T., Skiba S. 1996, *Gleby*, [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, TPN-PAN, Kraków-Zakopane, 215–226.
- Kononowa M., 1955, *Zagadnienie próchnicy glebowej*, PWRiL, Warszawa.
- Krawiec A., Czerny M. (red.), 2005, *Dokumentacja urzędzeniowa lasów Skarbu Państwa Tatrzańskiego Parku Narodowego, Tom 1. Opisanie ogólne (Elaborat)*, Krameko.
- Kubiena W.L., 1953, *The Soils of Europe*, Thomas Murby and Co., London.
- Maciaszek W., Gruba P., Januszek K., Lasota J., Wanic T., Zwydlak M., 2000, *Degradacja i redegradacja gleb pod wpływem gospodarki leśnej na terenie Żywiecczyzny*.
- Maciaszek W., Gruba P., Lasota J., Wanic T., Zwydlak M., 2009, *Właściwości fizyko-chemiczne gleb drzewostanów naturalnych i monokultur świerkowych w Beskidzie Zachodnim*, Sylwan 153(5), 338–345.
- Miechówka A., 2000, *Charakterystyka tatrzańskich gleb nieleśnych wytworzonych ze skał węglanowych*, Rozprawy Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie.
- Miechówka A., 2002, *Wybrane właściwości rędzin występujących pod kosodrzewiną w Tatrzańskim Parku Narodowym*, Roczniki Gleboznawcze 53(1–2), 1–8.
- Miechówka A., Ciarkowska K., 1998, *Mikromorfologiczne formy próchnicy tatrzańskich rędzin próchnicznych i butwinowych*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 464, 161–168.
- Mund M., Schulze E.-D., 2006, *Impacts of forest management on the carbon budget of European beech (Fagus sylvatica) forests*, Allgemeine Forst und Jagdzeitung 2(4), 47–63.
- Myczkowski S., Lesiński J., 1974, *Rozsiedlenie rodzimych gatunków drzew tatrzańskich*, Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, PAN, Wrocław-Kraków-Gdańsk 3, 13–70.
- Myczkowski S., Jagiełło Z., Larendowicz Z., Skawiński P., 1985a, *Mapa drzewostanów 1:50 000*, [w:] K. Trafas (red.), *Atlas Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Tatrzański Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi Oddział w Krakowie.
- Myczkowski S., Piękoś-Mirkowa H., Baryła J., 1985b, *Zbiorowiska roślinne 1:50 000*, [w:] K. Trafas (red.), *Atlas Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Tatrzański Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi Oddział w Krakowie.
- Nelson D.W., Sommers L.E., 1996, *Total carbon, organic carbon, and organic matter*, [w:] Sparks D.L. et al. (red.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA Book Series no. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA, 961–1010.

- Niemyska-Łukaszuk J., 1977, *Charakterystyka próchnicy niektórych leśnych gleb tatrzańskich*, Roczniki Gleboznawcze 28(1), 143–203.
- Oleksynowa K., Tokaj J., Jakubiec J. (red.), 1987, *Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i geologii. Część II. Metody laboratoryjne analizy gleby*, AR w Krakowie.
- Piękoś-Mirkowa H., 1985, *Mapa przekształceń roślinności 1:50 000*, [w:] K. Trafas (red.), *Atlas Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Tatrzański Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi Oddział w Krakowie.
- Ponge J-F., Jabiol B., Gégout J.-C., 2011, *Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests*, Geoderma, 162, 187–195.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975, *Ekologiczne podstawy siedliskoznaństwa leśnego*, PWRiL, Warszawa.
- Reich P.B., Oleksyn J., Modrzynski J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Chorover J., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G., 2005, *Linking litter calcium, earthworms and soil properties: a common garden test with 14 tree species*, Ecology Letters, 8, 811–818.
- Rousk J., Brookers P.C., Bååth E., 2009, *Contrasting Soil pH Effects on Fungal and Bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization*, Appl. Environ. Microbiol., 75(6), 1589–1596.
- Rozpędowska E., Skiba S., 2006, *Wpływ niezgodnych z siedliskiem nasadzeń świerkowych na gleby w Karpatach*, Roczniki Bieszczadzkie 14, 237–245.
- Salmons S., Mantel J., Frizzera L., Zanella A., 2006, *Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate*, For. Ecol. And Man., 237, 47–56.
- Sarıyıldız T., Tüfekçioğlu A., Küçük M., 2005, *Comparison of Decomposition Rates of Oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) and Oriental spruce (Picea orientalis (L.) Link) Litter in Pure and Mixed Stands of Both Species in Arvin, Turkey*, Turk. J. Agric. For. 29, 429–438.
- Skiba S., 1995, *Soils of the upper timberline ecotone in the Polish Carpathian Mts*, [w:] O. Heikkinen, B. Obrębska-Starkłowa, S. Tuhkanen (red.), *Environmental aspects of the timberline in Finland and in the Polish Carpathians*, Zesz. Nauk. UJ Prace Geograficzne 98, 189–198.
- Sokołowski M., 1935, *Szata roślinna Tatr Polskich*, Wydawnictwo Popularno-Naukowe Muzeum Tatrzańskiego, Zakopane.
- Staaf, H., 1987, *Foliage turnover and earthworm populations in three beech forests of contrasting soil and vegetation types*, Oecologia, 72, 58–64.
- Systematyka gleb Polski, 2011, Roczniki Gleboznawcze 62(3).
- Ukonmaanaho L., Merilä P., Nöjd P., Nieminen T.M., 2008, *Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots Pine and Norway Spruce stands in Finland*, Boreal Env. Research 13, suppl. B, 67–91.
- Vesterdal L., Raulund-Rasmussen K., 1997, *Forest floor chemistry and element contents as affected by seven tree species and a soil fertility gradient*, Can. J. For. Res., 28, 1636–1647.
- Waterhouse M.J., Armleder H.M., Dawson R.J., 1991, *Forage litterfall in Douglas fir forests in the central interior of British Columbia*, Research Note, 108, 1–29.

Wąsowicz T., 1933, *Badania nad glebami górskimi*, Prace Roln.-Leśn. PAU, 7.

Zanella A., Jabiol B., Ponge J.F., Sartori G., de Waal R., van Delft B., Graefe U., Cools N., Katzensteiner K., Hager H., Englisch M., Brethes A., Broll G., Gobat J.M., Brun J.J., Milbert G., Kolb E., Wolf U., Frizzera L., Galvan P., Kolli R., Baritz R., Kemmers R., Vacca A., Serra G., Banas D., Garlato A., Chersich S., Klimo E. , Langohr R., 2011, *European Humus Forms Reference Base*, 56, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/95/PDF/Humus_Forms_ERB_31_01_2011.pdf.

Katarzyna Wasak

Uniwersytet Jagielloński

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

e-mail: katarzyna.wasak@uj.edu.pl

